

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-138700

(43)Date of publication of application : 22.05.2001

(51)Int.Cl.

B44F 7/00

B44C 1/20

B44C 3/02

B44F 1/02

(21)Application number : 11-321052

(71)Applicant : DAINIPPON PRINTING CO LTD

(22)Date of filing : 11.11.1999

(72)Inventor : KAWAI NAOKI

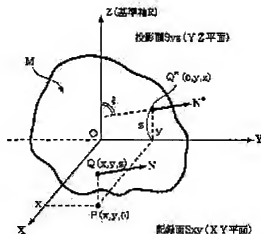
(54) EMBOSSED DECORATIVE, SHEET HAVING THREE-DIMENSIONAL PATTERN AND METHOD FOR MANUFACTURING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To express an arbitrary three-dimensional pattern by hairline thread grooves.

SOLUTION: A recording plane  $S_{xy}$  is defined on an X-Y plane in an X-Y-Z three-dimensional coordinate system, a projection plane  $S_{yz}$  on a Y-Z plane and a reference axis R on the Z-axis, and thereby a three-dimensional structure M in an arbitrary shape is defined. A large number of sampling points Q (x, y, z) are defined on the surface of the three-dimensional structure M and a normal vector N at the position of each sampling point Q is determined. An angle  $\xi$  of intersection of a projection vector N\* obtained by projecting the normal vector N on the projection plane  $S_{yz}$  and the reference axis R is determined and an azimuth angle  $\theta$  being  $\theta = \xi/2$  is defined.

An azimuth vector in the direction corresponding to the azimuth angle  $\theta$  is defined on a projection point P (x, y, 0) obtained by projecting the sampling point Q on the recording plane  $S_{xy}$  and thereby a vector field is formed on the recording plane  $S_{xy}$ . By forming a large number of hairline thread grooves extending in the direction along this vector field, as an indented pattern, a three-dimensional pattern of the three-dimensional structure M can be expressed in a simulated manner by anisotropic reflection of the pattern.





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 異方向性反射を生じる凹凸構造により立体模様を表現したエンボス化化粧シートを製造する方法であって、

所定の記録面と、所定の基準軸と、この基準軸を含む所定の投影面と、立体模様の原画像となる三次元構造体と、を定義する段階と、

前記三次元構造体の表面上に多数の標本点Qを定義し、これら各標本点Qのそれぞれについて法線ベクトルNを求め、この法線ベクトルNを前記投影面に投影して得られる投影ベクトルN\*と前記基準軸との交差角 $\theta$ を求める段階と、

前記各標本点Qを前記記録面に投影して得られる投影点Pを定義し、各投影点Pについて、対応する標本点Qについて求められた前記交差角 $\theta$ に応じた方位角 $\phi$ を定義する段階と、

前記記録面上において、多数の投影点Pについてそれぞれ所定の参照方向Uに対して方位角 $\phi$ をなす方向をいたる方位ベクトルVを求め、前記記録面上に求められた多数の方位ベクトルVに沿った多数のヘアラインHを定義する段階と、

前記多数のヘアラインHを物理的な凹凸構造としてエンボス化化粧シート上に形成する段階と、を有することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項2】 請求項1に記載の製造方法において、記録面に対して直交する基準軸を定義し、この基準軸に平行な方向から見たときに陰面が生じない構造をもった三次元構造体を定義し、交差角 $\theta$ が、 $-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ$ の範囲となるように設定することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項3】 請求項2に記載の製造方法において、方位角 $\phi$ を、 $\phi = k \cdot \theta$ （ただし、kは1未満の定数）なる式に基づいて定義し、方位角 $\phi$ が交差角 $\theta$ に対して線形関係を維持するように設定することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかに記載の製造方法において、

XYZ三次元座標系において、変数X、Y、Zの関係式として定義できる幾何学立体を、三次元構造体として定義することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項5】 請求項1～3のいずれかに記載の製造方法において、

立体模様の原画像となる三次元構造体を直接定義する代わりに、当該三次元構造体の表面上の任意の標本点Qにおける法線ベクトルNを数式で定義することにより、当該三次元構造体を間接的に定義するようにしたことを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項6】 請求項1～5のいずれかに記載の製造方法において、

記録面上に投影点Pを定義し、この投影点Pから逆に各標本点Qを求めるようにすることを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項7】 請求項6に記載の製造方法において、記録面上にヘアラインHの起点となるべき第1番目の投影点P1を定義し、

第1番目の投影点P1について求められた方位ベクトルV1の方向に、この投影点P1から所定距離Lだけ隔たった位置に、第(i+1)番目の投影点P(i+1)を定義する処理を、i=1～Iまで合計I回繰り返す処理を行い、

第1番目の投影点P1から第(I+1)番目の投影点P(I+1)に至るまでの合計(I+1)個の投影点を順に連結する曲線に基づいて1本のヘアラインHを定義することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項8】 請求項7に記載の製造方法において、記録面上に規則的に配置された複数の格子点を定義し、この格子点の位置を乱数に基づいてランダムに移動させ、移動後の各点の位置にそれぞれ起点となるべき第1番目の投影点P1を定義することを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項9】 請求項7または8に記載の製造方法において、

第1番目の投影点P1と第(i+1)番目の投影点P(i+1)との距離Iおよび繰り返し数Iを、乱数に基づいて決定するようにし、個々のヘアラインHの長さがランダムに決定されるようにしたことを特徴とする立体模様を有するエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項10】 異方向性反射を生じる凹凸構造により立体模様を表現したエンボス化化粧シートを製造する方法であって、

立体模様の原画像となる三次元構造体の表面に配置された多数の標本点Qと、これら各標本点Qの所定の記録面上への投影像に相当する多数の投影点Pとを定義し、前記各標本点Qのそれぞれについて法線ベクトルNを求め、各標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向に関する方向成分に対して相関をもった方位ベクトルVを、前記記録面上の、当該標本点Qに対応する投影点Pの位置に定義し、前記記録面上に定義された多数の方位ベクトルVによって前記記録面上にベクトル場を形成し、このベクトル場に沿った向きに配置された多数のヘアラインHを定義し、これらヘアラインHに相当する条溝によって凹凸構造を形成することを特徴とする立体模様を表現したエンボス化化粧シートの製造方法。

【請求項11】 請求項1～10のいずれかに記載の製造方法において、

1本のヘアラインHの線幅を、両端部において漸減させ

るようにしたことを特徴とする立体模様を有するエンボス化粧シートの製造方法。

【請求項12】 請求項1～11のいずれかに記載の製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までを演算処理によって実行し、ヘアラインHの内部領域と外部領域とからなる二値画像を示す画像データを作成する機能を有するエンボス化粧シート用画像データの作成装置。

【請求項13】 請求項1～11のいずれかに記載の製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までの演算処理を、コンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項14】 請求項1～11のいずれかに記載の製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までを実行することにより記録面上に得られる多数のヘアラインが、物理的な凹凸構造として形成されていることを特徴とするエンボス化粧シートもしくはエンボス版。

【請求項15】 異方向性反射を生じる凹凸構造により立体模様が記録されているエンボス化粧シートまたはエンボス版であって、

記録面上には、多数のヘアライン条溝からなる凹凸構造が形成されており、各ヘアライン条溝は、記録面上に定義された所定のベクトル場に沿った向きに配置されており、

立体模様の原画像となる三次元構造体の表面上の標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向に関する方向成分と、前記標本点Qの前記記録面上への投影点Pにおける前記ベクトル場の示す方向との間に所定の相関関係が形成されていることを特徴とする立体模様が記録されているエンボス化粧シートまたはエンボス版。

【請求項16】 請求項15に記載のエンボス化粧シートまたはエンボス版において、

立体模様の原画像となる三次元構造体の表面上の標本点Qについての法線ベクトルNについて、所定の基準軸を含む投影面上への投影ベクトルN\*を定義した場合に、前記基準軸と前記投影ベクトルN\*とのなす交差角 $\alpha$ と、前記標本点Qの記録面上への投影点Pにおけるベクトル場の示す方向との間に所定の相関関係が形成されていることを特徴とする立体模様が記録されているエンボス化粧シートまたはエンボス版。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、立体模様を有するエンボス化粧シートおよびその製造方法に関し、特に、建材・家具の表面や車両の内装などを構成するエンボス化粧シートに、ヘアライン条溝を形成することにより立体模様を表現する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 壁紙や床材などの建材の表面装飾、家具の表面装飾、車両の内装装飾などに、エンボス化粧シートが広く利用されている。特に、多数のヘアライン条溝

が形成されたエンボス化粧シートでは、照明光の反射方向に異方向性が生じるため、ある方向から観察すると強い反射光が得られ、別の方向から観察すると反射光は見えないという現象が生じる。このような異方向性反射を利用して、木目柄パターンなどの模様を表現しようとする試みが提案されている。たとえば、特開平10-287033号公報には、木材繊維の配向性を考慮することにより、多数のヘアライン条溝が形成されたエンボス化粧シートを作成し、木目柄パターンの照り模様を表現する方法が開示されている。また、特願平10-187718号明細書や特願平10-220237号明細書には、このヘアライン条溝により照り模様を表現する方法の更なる改良案が開示されている。これらの方法では、実用上は、いずれもコンピュータを用いてヘアラインパターンに対応する画像データを演算により求め、この画像データに基づいて、たとえば露光やエッチングなどのプロセスを行い、物理的なエンボス版上に凹凸パターンを形成し、このエンボス版を用いて、エンボス化粧シートを大量生産するのが一般的である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上述したように、ヘアライン条溝の異方向性反射を利用すれば、木目柄、パターンの照り模様などが表現できることは既に実証されている。しかしながら、建材や家具などの装飾模様は必ずしも木目柄に限られるのではなく、種々のモチーフが装飾模様として利用されている。特に、立体模様からなる装飾は、高級感を醸し出すことができ、あらゆる物品の表面装飾として好まれている。ところが、任意の立体模様をヘアライン条溝によってエンボス化粧シート上に表現する手法は、現在まで確立されていないため、任意の立体模様を表現することができなかった。

【0004】 そこで本発明は、任意の立体模様をヘアライン条溝によって表現したエンボス化粧シートおよびその製造方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 (1) 本発明の第1の態様は、異方向性反射を生じる凹凸構造により立体模様を表現したエンボス化粧シートを製造する方法において、所定の記録面と、所定の基準軸と、この基準軸を含む所定の投影面と、立体模様の原画像となる三次元構造体と、を定義する段階と、定義した三次元構造体の表面上に多数の標本点Qを定義し、これら各標本点Qのそれぞれについて法線ベクトルNを求め、この法線ベクトルNを投影面に投影して得られる投影ベクトルN\*と基準軸との交差角 $\alpha$ を求める段階と、各標本点Qを記録面に投影して得られる投影点Pを定義し、各投影点Pについて、対応する標本点Qについて求められた交差角 $\alpha$ に応じた方位角 $\theta$ を定義する段階と、記録面上において、多数の投影点Pについてそれぞれ所定の参照方向Uに対して方位角 $\theta$ をなす方向を向いた方位ベクトルVを求め、記録面

上に求められた多数の方位ベクトルVに沿った多数のヘアラインHを定義する段階と、この多数のヘアラインHを物理的な凹凸構造としてエンボス化化粧シート上に形成する段階と、を行うようにしたものである。

【0006】(2) 本発明の第2の態様は、上述の第1の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、記録面に対して直交する基準軸を定義し、この基準軸に平行な方向から見たときに顔面が生じない構造をもった三次元構造体を定義し、交差角 $\phi$ が、 $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ の範囲となるように設定するようにしたものである。

【0007】(3) 本発明の第3の態様は、上述の第2の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、方位角 $\theta$ を、 $\theta = k \cdot \phi$  (ただし、 $k$ は1未満の定数)な式に基づいて定義し、方位角 $\theta$ が交差角 $\phi$ に対して線形関係を維持するように設定するようにしたものである。

【0008】(4) 本発明の第4の態様は、上述の第1～3の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、XYZ三次元座標系において、変数X、Y、Zの関係式として定義できる幾何学立体を、三次元構造体として定義するようにしたものである。

【0009】(5) 本発明の第5の態様は、上述の第1～3の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、立体模様の原画像となる三次元構造体を直接定義する代わりに、当該三次元構造体の表面上の任意の標本点Qにおける法線ベクトルNを数式で定義することにより、当該三次元構造体を間接的に定義するようにしたものである。

【0010】(6) 本発明の第6の態様は、上述の第1～5の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、記録面上に投影点Pを定義し、この投影点Pから逆に各標本点Qを求めるようにしたものである。

【0011】(7) 本発明の第7の態様は、上述の第6の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、記録面上にヘアラインHの起点となるべき第1番目の投影点P1を定義し、第1番目の投影点Piについて求められた方位ベクトルViの方向に、この投影点Piから所定距離Liだけ隔たった位置に、第(i+1)番目の投影点P(i+1)を定義する処理を、 $i=1 \sim I$ まで合計I回繰り返す行い、第1番目の投影点P1から第(I+1)番目の投影点P(I+1)に至るまでの合計(I+1)個の投影点を順に連結する曲線に基づいて1本のヘアラインHを定義するようにしたものである。

【0012】(8) 本発明の第8の態様は、上述の第7の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、記録面上に規則的に配置された複数の格子点を定義し、これら格子点の位置を乱数に基づいて

ランダムに移動させ、移動後の各点の位置にそれぞれ起点となるべき第1番目の投影点P1を定義するようにしたものである。

【0013】(9) 本発明の第9の態様は、上述の第7または第8の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、第i番目の投影点Piと第(i+1)番目の投影点P(i+1)との距離 $l_i$ および繰り返し数Iを、乱数に基づいて決定するようにより、個々のヘアラインHの長さがランダムに決定されるようにしたものである。

【0014】(10) 本発明の第10の態様は、異方性反射を生じる凹凸構造により立体模様の表現したエンボス化化粧シートを製造する方法において、立体模様の原画像となる三次元構造体の表面に配置された多数の標本点Qと、これら各標本点Qの所定の記録面上への投影面に相当する多数の投影点Pとを定義し、各標本点Qのそれぞれについて法線ベクトルNを求め、各標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向に関する方向成分に対して相関をもった方位ベクトルVを、記録面上の、当該標本点Qに対応する投影点Pの位置に定義し、記録面上に定義された多数の方位ベクトルVによって記録面上にベクトル場を形成し、このベクトル場に沿った向きに配置された多数のヘアラインHを定義し、これらヘアラインHに相当する条溝によって凹凸構造を形成するようにしたものである。

【0015】(11) 本発明の第11の態様は、上述の第1～10の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法において、1本のヘアラインHの線幅を、両端部において漸減させるようにしたものである。

【0016】(12) 本発明の第12の態様は、上述の第1～11の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までを演算処理によっても実行し、ヘアラインHの内部領域と外部領域とからなる二値画像を示す画像データを作成する機能を有するエンボス化化粧シート用画像データ作成装置を構成するようにしたものである。

【0017】(13) 本発明の第13の態様は、上述の第1～11の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までの演算処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録するようにしたものである。

【0018】(14) 本発明の第14の態様は、上述の第1～11の態様に係る立体模様の有するエンボス化化粧シートの製造方法におけるヘアラインHを定義する段階までを実行することにより得られるヘアラインを、物理的な凹凸構造としてエンボス化化粧シートもしくはエンボス版上に形成するようにしたものである。

【0019】(15) 本発明の第15の態様は、異方性反射を生じる凹凸構造により立体模様が記録されているエ

ンボス化粧シートまたはエンボス版において、記録面上には、多数のヘアライン条溝からなる凹凸構造が形成されており、各ヘアライン条溝は、記録面上に定義された所定のベクトル場に沿った向きに配置されており、立体模様の原画像となる三次元構造体の表面上の標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向に関する方向成分と、標本点Qの記録面上への投影点Pにおけるベクトル場の示す方向との間に所定の相関関係が形成されているようにしたものである。

【0020】(16) 本発明の第16の態様は、上述の第15の態様に係るエンボス化粧シートまたはエンボス版において、立体模様の原画像となる三次元構造体の表面上の標本点Qについての法線ベクトルNについて、所定の基準軸を含む投影面上への投影ベクトルN\*を定義した場合に、基準軸と投影ベクトルN\*とのなす交差角 $\theta$ と、標本点Qの記録面上への投影点Pにおけるベクトル場の示す方向との間に所定の相関関係が形成されているようにしたものである。

【0021】

【発明の実施の形態】§1. 本発明に係るエンボス化粧シート作成の基本原理

ここでは、本発明に係る立体模様の有するエンボス化粧シートを作成するための基本的な手順を、図1の流れ図を参照しながら説明する。本発明の基本態様は、多数のヘアラインパターンをエンボス加工によって化粧シート上に凹凸構造として構成し、この凹凸構造の異方向性の性質を利用して、立体模様の表現を行う点にある。図示する流れ図において、ステップS1～S5までの段階は、多数のヘアラインからなる二次元平面パターンを定義する段階であり、本実施形態の場合、コンピュータを用いた演算処理によって、このヘアラインパターンに対応する二値画像データを生成している。最後のステップS6は、このヘアラインパターンを示す二値画像データに基づいて、物理的な凹凸構造を形成する段階である。

【0022】まず、ステップS1において、所定の記録面と、所定の基準軸と、この基準軸を含む所定の投影面と、立体模様の原画像となる三次元構造体と、を定義する。ここで、記録面は、ヘアラインからなる二次元平面パターンを形成するための二次元平面であり、後述する演算により、この記録面上にヘアラインパターンが得られることになる。基準軸は、後述する交差角 $\theta$ を求めるための基準となる軸であり、投影面はこの基準軸を含む面として定義される。基準軸および投影面は、記録面に対してどのような位置関係に定義してもかまわないが、本発明に係るエンボス化粧シートでは、この投影面に沿って視線を移動させたときに立体感が得られることになるので、エンボス化粧シートの一般的な観察態様を考慮した場合、記録面に対して直交するような投影面を定義し、この投影面上に含まれる1本の直線として基準軸を定義するのが最も効率的である。一方、三次元構造体

は、立体模様の原画像としての役割を果たす構造体であり、その表面形状が立体模様として表現されることになる。したがって、表現したい立体模様に応じて、任意の三次元構造体を定義することができる。

【0023】前述したように、図1のステップS1～S5の手順は、コンピュータを用いた演算処理によって実行される。したがって、ステップS1で定義される記録面、基準軸、投影面は、いずれも三次元座標系内の面もしくは軸を示す式として定義されることになり、三次元構造体はこの三次元座標系内に配置された立体データとして定義されることになる。ここに示す実施形態では、図2に示すようなXYZ三次元直交座標系におけるXY平面を記録面 $S_{xy}$ とし、Z軸を基準軸Rとし、YZ平面を投影面 $S_{yz}$ とした例を示すこととし、このXYZ三次元座標系上に、任意の立体形状をもった三次元構造体Mが定義されているものとして、以下の説明を行うこととする。任意形状をもった三次元構造体Mは、たとえば、多数のポリゴンからなる構造体として定義することができ、コンピュータ上では、これら各ポリゴンを示すデータ（たとえば、各ポリゴンの頂点座標を示すデータ）として取り扱うことができる。もっとも、単純な幾何学立体を三次元構造体Mとして定義するものであれば、単純な式によって立体形状を表現することも可能である。このような単純な幾何学立体を用いた具体例については、§5で述べることにする。

【0024】続いて、ステップS2において、三次元構造体Mの表面上に多数の標本点Qを定義する。この標本点Qは、三次元構造体Mの表面を代表するためのサンプル点として機能するので、できるだけ表面全体に分布するように定義するのが好ましい。図2に示す例では、三次元構造体Mの表面上に定義された1つの標本点Q（ $x, y, z$ ）だけが示されている。このように、標本点Qは、XYZ三次元座標系上における座標値（ $x, y, z$ ）をもった点として定義することができる。

【0025】次のステップS3では、各標本点Qについて法線ベクトルNを求め、これを投影面に投影して得られる投影ベクトルN\*と基準軸との交差角 $\theta$ が求められる。図2に示す例では、標本点Q（ $x, y, z$ ）についての法線ベクトルNが示されている。この法線ベクトルNは、標本点Q付近の微小面（三次元構造体Mの表面の一部を構成する面）に対して垂直外側に向かうベクトルとして定義できる。この法線ベクトルNは、その各座標軸方向成分（ $n_x, n_y, n_z$ ）によって表現することができる。上述したように、この例では、YZ平面を投影面 $S_{yz}$ としているため、この法線ベクトルNをYZ平面に投影した投影像が、投影ベクトルN\*として得られることになる。図示のとおり、投影ベクトルN\*は、標本点Q（ $x, y, z$ ）を投影面 $S_{yz}$ （YZ平面）に投影して得られる投影点Q\*（0, y, z）を起点とし、投影面 $S_{yz}$ に含まれるベクトルであり、いわば、

法線ベクトルNのY軸方向成分およびZ軸方向成分の情報をもったベクトルということができる。

【0026】図2の例では、Z軸を基準軸Rとしているため、この投影ベクトルN\*とZ軸とのなす角が交差角 $\varepsilon$ として得られることになる。なお、交差角 $\varepsilon$ は符号をもった角度として定義するようする。たとえば、図2に示すように、二次元YZ座標系において、投影ベクトルN\*が第1象限に位置する場合には交差角 $\varepsilon$ は正の値をとり、第2象限に位置する場合には交差角 $\varepsilon$ は負の値をとるよう定義する。こうして求められた交差角 $\varepsilon$ は、法線ベクトルNのY軸方向成分とZ軸方向成分との符号を考慮した割合を示す情報をもった量といえることができ、標本点Q付近の微小面の傾斜に関する情報が含まれていることになる。なお、後述するように、実用上は、投影ベクトルN\*が第3象限や第4象限に位置することがないように、三次元構造物Mの形状定義を行うのが好ましく、この場合、交差角 $\varepsilon$ は、 $-90^\circ$ （投影ベクトルN\*がY軸負方向を向いたベクトルとなる場合）から $+90^\circ$ （投影ベクトルN\*がY軸正方向を向いたベクトルとなる場合）の範囲内の値となる。

【0027】続くステップS4では、各標本点Qを記録面に投影することにより投影点Pを定義し、この投影点Pについて、対応する標本点Qについて求められた交差角 $\varepsilon$ に応じた方位角 $\theta$ を定義する。たとえば、図2に示す例では、XY平面を記録面Sxyとしているため、XY平面上に標本点Q(x, y, z)の投影点P(x, y, 0)が定義され、この投影点Pについて所定の方位角 $\theta$ が定義される。図2には1つの投影点Pしか示されていないが、もちろん、記録面Sxy上には、多数の標本点Qのそれぞれについて投影点Pが定義されることになり、各投影点Pには、対応する標本点Qについて求められた交差角 $\varepsilon$ に応じた方位角 $\theta$ がそれぞれ定義されることになる。ここで、方位角 $\theta$ は、投影ベクトルN\*について求められた交差角 $\varepsilon$ に関連した角度として定義できれば、どのような定義を行ってもかまわないが、三次元構造物Mの立体形状をできるだけ正確に表現する上では、方位角 $\theta$ が交差角 $\varepsilon$ に対して線形関係を維持するように設定するのが好ましい。具体的には、 $\theta = k \cdot \varepsilon$ （ただし、kは1未満の定数）なる式に基づいて方位角 $\theta$ を定義すれば、方位角 $\theta$ の絶対値が交差角 $\varepsilon$ の絶対値より大きくなることはないので、取り扱い上便利である。ここでは、 $k = 1/2$ に設定し、 $\theta = \varepsilon/2$ なる式により方位角 $\theta$ を定義した例について述べることにする。

【0028】次のステップS5では、記録面上に定義された多数の投影点Pのそれぞれについて、方位ベクトルVが求められる。この方位ベクトルVは、所定の参照方向Uに対して方位角 $\theta$ をなす方向を向いた記録面上のベクトルとして定義されるものである。図3は、記録面SxyとなるXY平面の平面図であり、図2に示す投影点

P(x, y, 0)について求められた方位ベクトルVが示されている。上述したように、ここに述べる例では、方位角 $\theta$ は、 $\theta = \varepsilon/2$ なる式により定義される。そこで、参照方向UとしてX軸正方向をとったとすれば、図3に示すような方位ベクトルVが、投影点P(x, y, 0)について定義されることになる。参照方向Uは、最終的に形成されるヘアラインの向きを決めるパラメータとして機能するだけであり、記録面Sxy上の方向であれば、どのような方向に定義しても実質的な差はない。

【0029】結局、図2に示す1つの標本点Q(x, y, z)について、記録面Sxy上に投影点P(x, y, 0)が定義され、図3に示すように、この投影点P(x, y, 0)について所定の方位ベクトルVが定義されることになる。上述したように、標本点Qは、三次元構造物Mの表面上のサンプル点として多数定義されているため、これらについての投影点Pも記録面Sxy上に多数定義されることになり、これら多数の投影点Pのそれぞれについて、方位ベクトルVが定義されることになる。そこで、ステップS5では、これら多数の方位ベクトルVに沿った多数のヘアラインHが定義される。たとえば、図4に示すように、記録面Sxy上に5つの投影点P1～P5が定義され、各投影点にそれぞれ方位ベクトルV1～V5が定義されていたとすると、これら各方位ベクトルV1～V5に沿った1本のヘアラインHを定義することができる。図示のように、ヘアラインHは、幅Wをもった細長い閉領域から構成されており、この例では、1本のヘアラインの幅Wは約30 $\mu$ m程度、長さは3～7mm程度である。記録面Sxy上には多数の投影点Pが定義されており、これら多数の投影点を用いてそれぞれヘアラインを構成すれば、図5に示すように、記録面Sxy上に多数のヘアラインHを定義することができる。

【0030】別言すれば、このステップS5の処理は、記録面Sxy上に方位ベクトルVによるベクトル場を形成し、このベクトル場に沿った方向に伸びる多数のヘアラインを定義する処理ということができる。すなわち、記録面Sxy上に定義された多数の投影点Pには、それぞれ所定の方向を向いた方位ベクトルVが対応づけられることになるので、これら多数の方位ベクトルVによって、記録面Sxy上にはベクトル場が形成されていると考えることができ、ステップS5において定義される多数のヘアラインは、このベクトル場に沿った方向に伸びる細長いラインということができる。

【0031】こうして多数のヘアラインが定義できれば、ヘアラインの内部領域（図5にハッチングを施した領域）と外部領域とからなる二値画像を示す画像データを作成することができる。結局、図1の流れ図におけるステップS1～S5の処理は、このような多数のヘアラインからなる二値画像を示す画像データを作成する処理ということができ、この処理はコンピュータを用いた演

算により実行できる。最後に、ステップS6において、多数のヘアラインを物理的な凹凸構造としてエンボス化紙シート上に形成する処理が行われる。たとえば、図5においてハッチングが施された内部領域を凹部、それ以外の外部領域を凸部、とするような凹凸構造をもったエンボス化紙シートを作成すれば、個々のヘアラインは細長い溝として形成されることになる。逆に、図5においてハッチングが施された内部領域を凸部、それ以外の外部領域を凹部、とするような凹凸構造をもったエンボス化紙シートを作成すれば、個々のヘアラインは細長い山脈状に隆起した構造体として形成されることになる。

【0032】S2. 観察時に立体視が生じる理由  
さて、上述のような方法で作成されたエンボス化紙シートを観察すると、原画像となった三次元構造体Mの立体形状を視覚的に認識することができる。もちろん、エンボス化紙シート上に形成されている実際の構造は、多数のヘアラインからなる凹凸構造にすぎず、原画像となった三次元構造体Mの立体形状がそのまま再現されているわけではない。しかしながら、エンボス化紙シートを観察すると、その表面にあたる三次元構造体Mの立体形状が存在するかのような視覚的な効果が生じることになる。このような効果が生じる理由についての詳細な理論的解析は、まだ行われていないが、本発明発明者は、その大まかな原理を次のように説明できるものと考えている。

【0033】いま、図6の斜視図に示すように、厚みD1をもったエンボスシートEの表面に、深さD2の細長い溝G（以下、ヘアライン条溝Gと呼ぶ）が多数形成されている場合を考える。多数のヘアライン条溝Gは幅W1、間隔W2をもつて互いに平行になるように形成されているものとする。このようなエンボスシートEは、その表面から得られる反射光の強度が観察方向により異なることが知られている。このエンボスシートEを、ヘアライン条溝Gに平行な面で切断した断面を図7(a)に示し、ヘアライン条溝Gに垂直な面で切断した断面を図7(b)に示す。図7(a)に示すように、ヘアライン条溝Gに対して平行な方向から入射した光は、ヘアライン条溝Gの底面で反射して、そのままヘアライン条溝Gに沿った方向へ鏡面反射して射出する。これに対して、図7(b)に示すように、ヘアライン条溝Gに対して垂直な方向から入射した光は、ヘアライン条溝Gの壁面および底面で何回も反射して、最終的にバラバラな方向へ拡散反射光として射出する。このため、ヘアライン条溝Gに平行な方向から観察すると、強い鏡面反射光が得られるが、ヘアライン条溝Gに垂直な方向から観察すると、鏡面反射光は弱くなる。

【0034】このように、ヘアライン条溝Gは異方性反射光を生じる性質があるため、その観察方向によって見え方が異なることになる。逆に言えば、同じ方向から観察した場合、形成されているヘアライン条溝Gの向きによ

って見え方が異なることになる。本発明に係る方法によって作成されたエンボス化紙シート上には、多数のヘアライン条溝Gが形成されている。しかも個々のヘアライン条溝Gの向きは、記録面Sxy上に定義されたベクトル場に沿った向きとなっており、このベクトル場は、原画像となる三次元構造体Mを構成する微小表面の特定の方向に関する向き（微小表面に立てた法線ベクトルNの投影面Syzに沿った方向に関する向き）を反映したものである。このため、エンボス化紙シート上の任意の点（記録面上の任意の投影点Pに対応）における反射光強度は、原画像となる三次元構造体Mの対応点（標本点Qに対応）における反射光強度に対して相関をもった量になる。本発明に係るエンボス化紙シートによって、原画像となる三次元構造体Mの立体形状を視覚的に認識できる理由は、このように、エンボス化紙シート上で実際に生じている反射現象と、仮想の三次元構造体について理論的に生じる反射現象との間に相関があるためと考えられる。

【0035】要するに、本発明の基本概念は、立体模様（原画像）となる三次元構造体Mの立体形状を視覚的に認識する多数の標本点Qと、これら各標本点Qの所定の記録面への投影像に相当する多数の投影点Pとを定義し、各標本点Qのそれぞれについて法線ベクトルNを求め、各標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向成分に関する方向成分に対して相関をもった方位ベクトルVを、記録面Sxy上の、当該標本点Qに対応する投影点Pの位置に定義し、この記録面Sxy上に定義された多数の方位ベクトルVによって記録面Sxy上にベクトル場を形成し、このベクトル場に沿った向きに配置された多数のヘアラインHを定義し、これらヘアラインHに相当するヘアライン条溝Gによって凹凸構造を形成することにある。このような凹凸構造が形成されたエンボス化紙シートでは、ヘアライン条溝Gによってベクトル場が表現されており、このベクトル場が、三次元構造体M上の個々の標本点Qについての法線ベクトルNの特定の方向成分に相関関係をもった場となっているため、三次元構造体Mに応じた立体模様が観察されるのである。

【0036】S3. パラメータの設定バリエーション  
もちろん、本発明に係る方法による立体形状の表現手法は、いわゆるホログラムを用いた立体像の再生手法とは異なるため、観察時において、原画像として用いた三次元構造体が正しい立体像として再生されるわけではない。しかしながら、エンボス化紙シートの主たる用途は、建材や家具などの表面装飾であるため、正確な立体像再生を行う必要はなく、何らかの立体的な模様が観察できれば十分である。したがって、本発明を実施する上で定義すべき種々のパラメータは、かなり自由度をもっていることになる。

【0037】たとえば、前述の実施形態では、XY平面上に記録面Sxyを定義し、YZ平面上に投影面Syz

を定義し、Z軸上に基準軸Rを定義しているが、記録面、投影面、基準軸といったパラメータの定義は、必ずしもこのような定義にする必要はない。同一の三次元構造物Mを用いたとしても、記録面、投影面、基準軸の定義を変えることにより、最終的に得られるヘアラインパターンはそれぞれ異なったものとなり、エンボス化紙シート上に観察される立体模様もそれぞれ異なったものとなるが、いずれにしても何らかの立体模様が得られることに変わりはない。ただ、以下に述べるように、投影面をどのように定義するかによって、立体視効果が顕著に得られる観察方向が左右されることになるので、実用上は、記録面に対して垂直となるような面を投影面として定義するのが好ましい。

【0038】ここでは、この投影面の意味について、もう少し検討してみる。いま、図2に示すように、記録面 $S_{xy}$ (XY平面)に直交するような投影面 $S_{yz}$ (YZ平面)を定義した場合を考える。記録面 $S_{xy}$ 上に得られるヘアラインの向き(方位角 $\theta$ )を決定する要素は、投影ベクトルN\*と基準軸Rとのなす交差角 $\phi$ であるが、この交差角 $\phi$ には、各法線ベクトルNのうちのX軸方向成分に関する情報が全く含まれていない。すなわち、法線ベクトルNのX軸方向成分は、法線ベクトルNを投影面 $S_{yz}$ へ投影して、投影ベクトルN\*を得た時点で失われてしまうことになる。したがって、投影面 $S_{yz}$ を用いて記録面 $S_{xy}$ 上に得られたヘアラインパターンには、各法線ベクトルのX軸方向成分は一切含まれていないことになる。本来、三次元構造物Mの立体形状を正確に記録するためには、法線ベクトルNのX軸、Y軸、Z軸方向成分のすべてを記録しておかねばならないが、本発明では、このうちの1軸方向成分を無視した記録が行われることになる。別言すれば、三次元のベクトル成分(三次元構造物Mの法線ベクトル成分)を、二次元のベクトル成分(記録面上にヘアラインの流れとして表現されたベクトル場)として表現してしまったため、本発明に係るエンボス化紙シートでは、正確な三次元立体を再生するための情報は既に失われているのである。

【0039】図2の例のように、YZ平面上に投影面 $S_{yz}$ を定義すると、法線ベクトルNのX軸方向成分の情報が記録されなくなるので、記録面 $S_{xy}$ 上に形成されたヘアライン条溝を観察する際に、視点位置をX軸方向に移動させたとしても、立体視効果は得られなくなることは直観的に理解できるであろう。結局、観察時の視点位置から記録面へ向かう視線ベクトルなるものを定義した場合、この視線ベクトルが投影面 $S_{yz}$ に含まれるような形態で、この視線ベクトルの向きを変化させると、最も顕著な立体視効果が得られるものと考えられる。このような理由から、投影面は、観察時において立体視効果が最も顕著となる面としての意味をもつことになる。したがって、垂直方向から観察されることが多い壁紙などの一般的な観察態様を考慮すると、記録面(この場

合、壁紙の表面)に対して垂直な投影面を設定しておけば、一般的には、立体視効果の高いエンボス化紙シートを作成することが可能になる。もちろん、天井材の表面に用いる特殊なエンボス化紙シートであって、通常、斜め45°の角度から観察されることが多いというような場合には、記録面に対して45°の角度で交わるような投影面を定義した方が、より顕著な立体視効果が期待できる場合もある。

【0040】また、本発明において原画像として用いる三次元構造物Mは、最終的にエンボス化紙シート上に表現される立体模様を左右する重要な素材というべきものであるが、本発明を実施するにあたって、基本的には、どのような三次元立体を三次元構造物Mとして定義しても構わない。ただ、いわゆる陰面についてまで、記録を行うことはできないので、実用上は、陰面の生じない三次元構造物Mを用いるのが好ましい。具体的には、記録面に対して直交する基準軸を定義し、この基準軸に平行な方向から見たときに陰面が生じない構造をもった三次元構造物を定義し、交差角 $\phi$ が、 $0^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ の範囲となるように設定するのが好ましい。

【0041】たとえば、図8に示す三次元構造物Maは陰面の生じない三次元構造物の一例であり、図9に示す三次元構造物Mbは陰面の生じる三次元構造物の一例である。いずれも、XYZ三次元座標系におけるXY平面上に記録面 $S_{xy}$ を定義し、YZ平面上に投影面 $S_{yz}$ を定義し、Z軸方向に基準軸Rを定義した例であり、投影面 $S_{yz}$ における断面が示されている。図8に示す三次元構造物Maは、記録面 $S_{xy}$ 上に配置した半球状の立体であり、基準軸Rに平行な方向(図の上方)から見たときには、陰面は一切生じていない。このように、陰面が生じない立体の場合、その表面上の任意の標本点についての交差角 $\phi$ は、必ず $0^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ の範囲となる。たとえば、図の右半分に位置する任意の標本点Q1については、図示のとおり、投影面 $S_{yz}$ 上への投影点Q1\*を起点とする投影ベクトルN1\*と基準軸Rとの交差角 $\phi$ が、 $0^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ の範囲内となり、図の左半分に位置する任意の標本点Q2については、図示のとおり、投影面 $S_{yz}$ 上への投影点Q2\*を起点とする投影ベクトルN2\*と基準軸Rとの交差角 $\phi$ が、 $-90^\circ \leq \phi \leq 0^\circ$ の範囲内となる。このように、陰面が生じない半球表面のような立体を三次元構造物として定義した場合、記録面 $S_{xy}$ 上として、この三次元構造物のすべての表面をヘアラインとして記録することができる。

【0042】一方、図9に示す三次元構造物Mbは、記録面 $S_{xy}$ 上に配置した球状の立体であり、基準軸Rに平行な方向(図の上方)から見たとき、下半分(いわゆる南半球部分)は陰面となってしまう。このように、陰面が生じる立体の場合、その表面上の任意の標本点についての交差角 $\phi$ は、必ずしも $-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$ の

範囲内の角度にはならない。たとえば、図の右半分に位置する任意の標本点Q1（隠面上の点ではない）については、図示のとおり、投影面Syz上への投影点Q1\*を起点とする投影ベクトルN1\*と基準軸Rとの交差角 $\varepsilon$ が、 $0^\circ \leq \varepsilon \leq +90^\circ$ の範囲内となっているが、図の左半分に位置する任意の標本点Q2（隠面上の点）については、図示のとおり、投影面Syz上への投影点Q2\*を起点とする投影ベクトルN2\*と基準軸Rとの交差角 $\varepsilon$ が、 $-180^\circ \leq \varepsilon \leq -90^\circ$ の範囲内となる。このように、隠面が生じる球表面のような立体を三次元構造体として定義した場合、記録面Sxy上には、この三次元構造体の一部分（北半球部分）しか記録できない。したがって、実用上は、図8に示す例のように、隠面の生じない三次元構造体を定義するのが好ましい。

【0043】続いて、方位角 $\theta$ というパラメータについて考えてみる。上述の実施形態では、投影ベクトルN\*と基準軸Rとのなす交差角 $\varepsilon$ と、投影点Pにおける方位ベクトルVの参照方向Uに対する方位角 $\theta$ との間の相関関係として、 $\theta = \varepsilon/2$ なる関係を定義していた。しかし、方位角 $\theta$ なるパラメータの定義は、必ずしもこのような一義的な定義を行う必要はなく、交差角 $\varepsilon$ に対して何らかの相関関係を有する角度として定義できればよい。ただ、三次元構造体Mの立体形状をできるだけ正確に表現する上では、方位角 $\theta$ が交差角 $\varepsilon$ に対して線形関係を維持するようには設定するのが好ましく、具体的には、 $\theta = k \cdot \varepsilon$ （ただし、kは1未満の定数）なる式に基づいて方位角 $\theta$ を定義するのがよい。もちろん、 $\theta = 0.9 \cdot \varepsilon$ とすることもできるし、 $\theta = 0.1 \cdot \varepsilon$ とすることもできるが、本発明者が試みた限りでは、 $k = 1/2$ 程度に設定して $\theta = \varepsilon/2$ なる関係を用いるのが実用的である。特に、前述したように、隠面の生じない三次元構造体を用いた場合、交差角 $\varepsilon$ は、 $-90^\circ \leq \varepsilon \leq +90^\circ$ の範囲内の角度になる。このため、kがあまり1に近いと、方位角 $\theta$ の分布が、 $-45^\circ < \theta < +90^\circ$ の範囲となるため、作成されるヘアラインの指向性が定まらなくなる。 $k = 1/2$ 程度に設定して $\theta = \varepsilon/2$ とすれば、方位角 $\theta$ の分布が、 $-45^\circ < \theta < +45^\circ$ の範囲となるため、参照方向Uへの指向性が得られるようになり、マクロ的に見れば、参照方向Uに沿った方向に細長い多数のヘアラインを形成することができるようになる。

【0044】§4. より実用的なヘアラインの作成方法  
前述した§1では、図1の流れ図に基づいて本発明の基本手順を説明した。この基本手順では、三次元構造体Mの表面に多数の標本点Qを定義し、各標本点Qについて記録面上に投影点Pを求めている。このように、各標本点Qを定義し、続いて各標本点Qについて投影点Pを求める、という手順は、本発明の基本思想に沿った手順ではあるが、実用上は、必ずしもこのような手順を採る必要はなく、実質的に同じ結果が得られる方法であれ

ば、別な手順を採ってもかまわない。実際、コンピュータを用いた演算を行うことを考えると、むしろ逆の手順を採った方が実用的と言える。図1の流れ図におけるステップS1～S5までの手順の最終目的は、記録面上に得られたベクトル場に沿った多数のヘアラインパターンを得ることである。したがって、記録面上のベクトル場は、ヘアラインパターンの作成に必要な解像度で求まっていれば足りることになり、それ以上の解像度でベクトル場を求める必要はない。このように、ヘアラインパターンの作成という観点から考えると、まず、記録面上に必要な解像度で投影点Pを定義し、この投影点Pから逆に各標本点Qを求めるようにした方が効率的である。以下、このように、先に投影点Pを定義することにより、記録面上にヘアラインパターンを作成する手法を採り入れた具体的な手順を、図10および図11の流れ図に基づいて説明する。

【0045】まず、ステップS11において、記録面、基準軸、投影面、三次元構造体の定義を行う。これは図1に示すステップS1と全く同様である。ここでは、前述の実施形態と同様に、XY平面を記録面Sxyとし、Z軸を基準軸Rとし、YZ平面を投影面Syzとし、任意形状の三次元構造体Mを定義した場合について以下の説明を行うことにする。

【0046】次に、ステップS12において、記録面Sxy上に規則的に配置された複数個の格子点を定義する。たとえば、図12には、記録面Sxy上に規則的に配置された8個の格子点T（図では黒丸で示す）が示されている。各格子点Tは、X軸方向のピッチが $x$ 、Y軸方向のピッチが $y$ となるように規則的に配置されており、1つの格子点Tは、 $T(x, y)$ なる座標値によって定義される。各格子点Tは、1本のヘアラインの起点となるべき点であり、これら各格子点Tからヘアラインが参照方向U（この例ではX軸方向）に伸びてゆくことになる。したがって、格子のピッチ $x$ および $y$ は、隣接するヘアラインの間隔を左右するパラメータとなる。この例では、ピッチ $x = 3000 \mu\text{m}$ 、ピッチ $y = 500 \mu\text{m}$ 程度に設定してある。

【0047】続くステップS13では、各格子点Tを乱数に基づいてランダム移動させる処理を行う。上述のように、各格子点Tは1本のヘアラインの起点となるべき点であるが、この起点が規則的に配置されていると、最終的に規則的な配置をもったヘアラインが作成されることになり好ましくない。一般に、規則的な配置はエンボス成形後に認識されやすく、表現したい立体感とは無関係な印象を与える原因となる。したがって、本発明を実施する上では、ヘアラインパターンはできるだけランダムに配置されている方が好ましい。ここに示す例では、図12に示すように規則的に配置された各格子点Tを、X軸方向にランダムな変位量 $dx$ だけ変位させ、Y軸方向にランダムな変位量 $dy$ だけ変位させることにより、

ランダム移動させている。図12に白丸で示す点P( $x+dx, y+dy$ )は、このようなランダム移動が行われた後の格子点である。ここで、変位量 $dx$ の範囲を、 $-tx/2 \leq dx \leq tx/2$ とし、変位量 $dy$ の範囲を、 $-ty/2 \leq dy \leq ty/2$ とすれば、1つの格子点T( $x, y$ )の移動範囲は、図12に破線で示すような矩形領域P内に制限されることになる。

【0048】図13は、このようにして、8個の格子点についてランダム移動を行った状態を示す図である。図に黒丸で示された点P1(1)～P1(8)が、移動後の格子点を示している。実は、これらの各点P1(1)～P1(8)は、いずれもヘアラインHの起点となるべき第1番目の投影点に他ならない。以下の説明では、記録面Sxy上に定義される投影点を、Pi(j)なる符号で示すことにする。ここで、jは作成するヘアラインのシリアル番号であり、iは1本のヘアラインを構成する各構成点のシリアル番号である。図13に示す8個の点は、いずれもヘアラインの起点となるべき投影点であるから、いずれも $i=1$ となっている。また、図示の例では、合計8本のヘアラインを作成する単純なモデルを示しているで、8個の投影点P1(1)～P1(8)のみが示されているが、実際にはより多数(合計J本)のヘアラインが作成されることになり、J個の投影点P1(1)～P1(J)が定義されることになる。

【0049】このように、J本のヘアラインの起点となるべきJ個の投影点P1(1)～P1(J)を定義する際には、まず、ステップS12において、規則的に配置されたJ個の格子点Tを定義し、続いて、ステップS13において、これらをランダム移動させる、という手順を採ることは、実用上、非常に意味のあることである。上述したように、予期せぬ可視パターンを回避するためには、各ヘアラインは、できるだけランダムに配置するのが好ましい。しかしながら、完全にランダムに配置してしまうと、ヘアラインの密度分布が一様にはならなくなり、ヘアラインが密集した部分と、過疎な部分が生じてしまい、やはり好ましくない結果となる。上述したように、一旦、規則的に配置した格子点をランダム移動させる、という手法を採れば、記録面全体としては一様な密度分布をもちながら、個別に見ればランダムに配置されているという理想的なヘアライン分布を得ることができ。

【0050】続いて、ステップS14において、ヘアラインのシリアル番号パラメータjを初期値1に設定し、ステップS15において、ヘアラインの構成点のシリアル番号パラメータiを初期値1に設定し、以下の一連の手順を実行する。

【0051】まず、ステップS16では、投影点Pi(j)から逆に標本点Qi(j)を求め、投影点Pi(j)についての方位ベクトルVi(j)を求める処理が行われる。たとえば、 $j=1, i=1$ の場合、まず、

図13に示す投影点P1(1)についての標本点Q1

(1)が逆求められる。投影点Pから標本点Qを求めるには、単に、投影点Pにおいて記録面上に立てた垂線と三次元構造体Mの表面との交点を求める演算を行えばよい。得られた交点が標本点Qということになる。標本点Qが求まったら、その位置における法線ベクトルNを求めることができ、投影ベクトルN\*を求めることができる。したがって、交差角 $\theta$ を求めることができ、方位角 $\theta$ を決定することができる。投影点Pから逆に標本点Qを求めるのは、この方位角 $\theta$ を決定するために他ならない。方位角 $\theta$ が求まれば、記録面上において、所定の参照方向Uに対して、方位角 $\theta$ だけ隔った方向を向いたベクトルとして、方位ベクトルVを求めることができる。

【0052】図14は、第j番目のヘアラインの形成過程を示す平面図(記録面Sxyを示す図)である。上述したステップS16の手順を実行することにより、第j番目のヘアラインHjの起点となるべき第1番目の投影点P1(j)について、方位ベクトルV1(j)が求まることになる。ここで、方位ベクトルV1(j)は所定の単位長さをもった単位ベクトルとする。続くステップS17では、乱数を用いて距離L1(j)を決定し、第1番目の投影点Pi(j)から方位ベクトルV1(j)の方向に、距離L1(j)だけ隔った位置に、第(i+1)番目の投影点Pi+1(j)が定義される。図14に示す例の場合、第1番目の投影点P1(j)から、方位ベクトルV1(j)の方向に、ランダムな距離L1(j)だけ隔った位置に、第2番目の投影点P2(j)が定義されることになる。

【0053】このステップS16およびS17の処理は、ステップS18およびS19を経て、 $i=1 \sim I$ まで合計I回繰り返して行われる。ここで、Iは乱数によって決定される整数である。図14に示す例は、 $I=5$ に設定した例である。すなわち、ステップS16およびS17の処理が5回繰り返して実行された結果、第1番目の投影点P1(j)から第6番目の投影点P6(j)が定義されている。

【0054】続いて、図11に示すステップS20では、こうして得られた第1番目の投影点P1(j)から第(I+1)番目の投影点Pi+1(j)に至るまでの合計(I+1)個の投影点を、ベジエ曲線あるいはスプライン曲線などを用いて滑らかに連結することにより、第j番目のヘアラインHjの骨格が形成される。たとえば、図14に示す例の場合、6つの投影点P1(j)～P6(j)を、ベジエ曲線あるいはスプライン曲線などを用いて滑らかに連結することにより、図15に太線で示すようなヘアラインHjの骨格が形成されることになる。

【0055】更に、ステップS21において、このヘアラインHjの骨格に、幅を定義し、幅をもったヘアライ

ンを定義する。ここに示す実施形態では、図16に示すような幅関数を定義しておき、ヘアラインHjの骨格にこの幅関数を適用し、両端部において漸減するような幅を定義している。図16のグラフは、ヘアラインの骨格に沿った位置を横軸に、当該位置における幅を縦軸にといったグラフであり、横軸は0～1の範囲に規格化されている。このような幅関数を用いれば、ヘアライン骨格全長のそれぞれ30%に相当する両端部において線幅が漸減し、残りの40%に相当する中央部分において一定の幅Wをもつような幅をもったヘアラインを定義することができる。図15に示す輪郭線Cjは、ヘアラインHjの骨格に、このような幅関数を適用して得られる幅をもったヘアラインの輪郭線を示している。

【0056】図4あるいは図5に示す例では、いずれの部分も同一幅WをもったヘアラインHを作成する例を示したが、実際には、図15に示すように、両端部において幅が漸減するようなヘアラインを定義するのが好ましい。その理由は、ヘアラインの幅Wが、S2で述べた異方性反射に影響を与えることを抑制するためである。たとえば、図17(a)に示すように、端部に至るまで同一幅Wをもったヘアラインが形成されていた場合、ヘアライン条溝の側面エッジE1に照明光M1が照射された場合の反射態様と、ヘアライン条溝の端部エッジE2に照明光M2（照明光M1に直交する方向を向いている）が照射された場合の反射態様とが近似的なため、異方性反射の効果が若干失われることになる。これに対し、図17(b)に示すように、端部において幅Wが漸減するようなヘアラインが形成されていた場合、ヘアライン条溝の側面エッジE3に照明光M3が照射された場合の反射態様と、ヘアライン条溝の端部に照明光M4（照明光M3に直交する方向を向いている）が照射された場合の反射態様とは異なるため、異方性反射の効果が損なわれることはない。

【0057】このようにして、第j番目のヘアラインHjを形成する工程が、ステップS22およびS23を経て、合計J回（Jは、ステップS12で発生させた格子点の数）だけ繰り返して実行され、合計J本の幅をもったヘアラインが形成されることになる。なお、ステップS17において利用される距離Li(j)は、たとえば、 $L_i(j) = \alpha + \beta \cdot Rnd(i, j)$ （ただし、 $\alpha$ 、 $\beta$ は所定の定数、Rndは0～1の間の乱数）のような式で定義しておけば、 $\alpha \sim (\alpha + \beta)$ の間のランダムな値にすることができる。また、ステップS18において利用される繰り返し回数Iも、たとえば、 $I = r + \delta \cdot Rnd$ （ただし、 $r$ 、 $\delta$ は所定の定数、Rndは0～1の間の乱数）のような式で定義しておけば、 $r \sim (r + \delta)$ の間のランダムな値にすることができる。各ヘアラインごとにその全長をランダムにすることができる。

【0058】こうして、記録面上のランダムな位置に、ランダムな長さをもった多数のヘアラインを定義するこ

とができる。しかもこれらのヘアラインの流れは、原画像として定義した三次元構造体の微小面の向きに一致したものとなっている。なお、上述のような手順で合計J本の幅をもったヘアラインを定義すると、ヘアライン同士が記録面上で重なりあうケースもあろう。たとえば、図18に示す例では、4本のヘアラインH1～H4のうち、ヘアラインH2とH3とが部分的に重なりを生じている。このような重なりが生じるような場合、後から発生させるヘアラインの向きを若干修正することにより、重なりを回避するようなことも可能であるが、本願発明者が実際に作成したエンボス化腔シートを見る限りは、このような重なりが生じていても、立体模様を観察には何ら支障は生じていない。したがって、図18に示すような重なりが生じていても、何ら問題は生じないと考えられる。

【0059】図11のステップS24では、こうして作成されたJ本の幅をもったヘアラインH1～HJの内部領域と外部領域とを区別する二値画像を示す画像データが作成される。たとえば、図18に示す例では、ハッチングを施した部分が内部領域、それ以外の部分が外部領域となる。そして、ステップS25では、この画像データに基づいてエンボス版が作成される。このエンボス版は、最終的な製品であるエンボス化腔シートを大量生産するための版として用いられるものである。コンピュータから出力される二値画像データに基づいて、凹凸構造をもったエンボス版を作成する手法としては、既に種々の方法が知られているため、ここでは具体的な説明は省略する。こうしてエンボス版が作成できれば、ステップS26において、このエンボス版を用いて、透明シートの表面にエンボス加工が行われ、最後のステップS27において、このエンボス加工済みの透明シートが印刷シート上に貼り合わされ、最終製品であるエンボス化腔シートが作成される。

【0060】図19は、エンボス版10と、透明シート20と、印刷シート30との関係を示す断面図である。エンボス版10上には、二値画像に基づく凹凸パターンが形成されている。たとえば、ヘアラインの内部領域が凸部11となり、外部領域が凹部12となる。このエンボス版10を用いて、透明シート20上にエンボス加工を施すと、凹凸関係が逆転し、ヘアラインの内部領域が凹部21となり、外部領域が凸部22となる。したがって、この場合、透明シート20上には、ヘアライン条溝が形成されることになる。もちろん、エンボス版10を作成する際に凹凸の関係を逆にしておけば、透明シート20上には、ヘアラインに相当する部分が隆起した構造が得られる。印刷シート30は、表面に何らかの結露（無地でもよい）が印刷されたシートであり、透明シート20を印刷シート30上に貼り合わせることで、エンボス化腔シートが作成される。このエンボス化腔シートでは、表面にヘアラインの凹凸構造が形成されてお

り、透明シート20を通して印刷シート30上の印刷面を観察することができる。したがって、印刷シート30に印刷された絵柄に、透明シート20の凹凸構造による立体模様が重なることによって観察されることになる。もちろん、印刷シート30の絵柄を無視しておけば、立体模様のみが観察されることになる。

【0061】このように、透明シート20と印刷シート30との積層構造によりエンボス化シートを形成するようにすれば、印刷シート30上に形成された平面的な印刷模様と、透明シート20の凹凸構造により観察される立体模様との組み合わせにより、種々の模様パターンを表現することが可能になる。もっとも、本発明に係るエンボス化シートは、必ずしもこのような積層構造を採る必要はなく、印刷シート30は必須の構成要素ではない。要するに、本発明では、何らかのシート上にヘアラインからなる凹凸構造が形成されていば足り、必ずしも透明シートを用いる必要はない。また、家具の表面装飾などに適用する場合であれば、必ずしもシート状のものを家具の表面に貼り付ける必要はなく、たとえば、家具の構成材料自体の表面に、ヘアラインからなる凹凸構造を形成しても、本発明に係るエンボス化シートを貼り付けたときと実質的に同等の効果が得られる。本明細書では、説明の便宜上、最も一般的な利用形態であるエンボス化シートについて、本発明を適用した例を述べることにするが、本発明は、シート状の装飾物への適用に限定されるものではなく、これと実質的に同等の効果が得られる表面装飾への適用も可能である。

【0062】§5.いくつかの実施例の提示

ここでは、§4で述べた方法で作成したいくつかの実施例を提示する。いずれも、図2に示すように、XY平面上に記録面Sxyを定義し、YZ平面上に投影面Syxを定義し、Z軸上に基準軸Rを定義して実際に作成したエンボス化シートに、所定方向から光を照射し、所定の視点から観察したときのパターンを示してある。実際には、視点位置を移動させることにより、原画像となった三次元構造体Mの立体視が生じることになる。

【0063】図20の上半分に示す半球パターンは、図8に示すような半球を多数並べた三次元構造体を用いた例である。この例では、大小2種類の半球が用いられているが、小さな半球は、図8に示すような凸半球（記録面Sxyの上に置かれた北半球の外側面に相当）のパターンであり、大きな半球は凹半球（記録面Sxyの下に置かれた南半球の内側面に相当）のパターンである。このような三次元構造体Mは、XYZ三次元座標系において、変数X、Y、Zの関数を用いた幾何学立体として定義することが可能である。図20の下半分には、球の中心を原点、半径をrとしたときの、凸半球および凹半球を定義する式を示してある。いずれも、立体を定義する式は、各立体表面の任意の標本点Qの(x, y, z)座標値を定義する式となっており、法線ベクトル成分

(nx, ny, nz)は、標本点Q(x, y, z)に立てた法線ベクトルのX軸、Y軸、Z軸方向成分を定義する式となっている。たとえば、凸半球の場合、任意の標本点Q(x, y, z)について、 $z = (r^2 - x^2 - y^2)^{1/2}$ なる式が成り立ち、この標本点Q(x, y, z)に立てた法線ベクトルは、(x, y, z)なるベクトル成分を有していることになる。

【0064】図21の上半分に示す円錐パターンは、底面が記録面Sxyに一致するように、記録面Sxy上に密集して配置された多数の円錐を三次元構造体として用いた例である。この例では、いずれも凸円錐（頂点のZ座標が正の値をとる円錐：上向き円錐）が用いられているが、凹円錐（頂点のZ座標が負の値をとる円錐：下向き円錐）を用いることも可能である。図21の下半分には、底面の中心を原点、半径をr、高さをhとしたときの、凸円錐および凹円錐を定義する式および法線ベクトルを示す式を掲載してある。

【0065】図22の上半分に示す円柱パターンは、中心軸が記録面Sxyに含まれ、X軸に平行となるように、記録面Sxy上に密集して配置された多数の円柱を三次元構造体として用いた例である。このパターンの上半分では凸円柱（記録面Sxyの上方に位置する上半分の円柱の外側面）が用いられており、このパターンの下半分では凸円柱と凹円柱（記録面Sxyの下方に位置する下半分の円柱の内側面）とを交互に配置した構造体が用いられている。図22の下半分には、円柱の中心軸をX軸、半径をrとしたときの、凸円柱および凹円柱を定義する式および法線ベクトルを示す式を掲載してある。

【0066】図23に示す部分円柱パターンは、図24に示すような部分円柱を数き詰めた三次元構造体を用いた場合のパターンである。このように、幾何学図形の一部分のみを利用してパターンを作成することも可能である。図25に示す金網パターンは、図26に示すような蛇行円柱を縦横に組み合わせた三次元構造体を用いた場合のパターンである。図26に示す蛇行円柱は、通常の円柱を示す式に、正弦波を示す式を組み合わせることにし、数式定義が可能である。

【0067】これまで述べた例は、いずれも三次元構造体を、幾何学図形を示す式を用いて定義していたが、本発明で用いる三次元構造体は、任意の標本点Q(x, y, z)における法線ベクトルNを求めることができれば、どのような定義を行ってもかまわない。したがって、多数の微小面の集合によって三次元構造体を定義することも可能である。最近では、コンピュータグラフィックス技術の発達により、任意の三次元形状をポリゴンとして表現することが容易に行えるようになってきており、このようなコンピュータグラフィックスによって作成されたポリゴンデータで、三次元構造体として利用すれば、非常にバラエティに富んだ立体模様を作成することが可能になる。

【0068】また、本発明を実施する上では、三次元構

造体自体のデータは必ずしも必要ではない。もちろん、本発明を構成する技術思想としては、何らかの三次元構造体を定義し、この三次元構造体を構成する微小面の向きを、ヘアラインによるベクトル場として表現することになるのであるが、実態上は、任意の標本点Qにおける法線ベクトルNさえ定義できれば、本発明に係るエンボス化化粧シートを作成することが可能になる。すなわち、立体模様の原画像となる三次元構造体を直接定義する代わりに、当該三次元構造体の表面上の任意の標本点Qにおける法線ベクトルNを数式などで定義すれば、当該三次元構造体を間接的に定義することが可能になり、当該三次元構造体に基づく立体模様をエンボス化化粧シート上に記録することが可能になる。

【0069】図27は、このよう考え方に基づいて、三次元構造体を構成する立体を定義する式を用いず、任意の標本点位置における法線ベクトルを定義する式のみを用い、エンボス化化粧シートを作成した例を示している。図27の上半分には、法線ベクトルのみ定義することにより得られたパターンが示されており、図27の下半分には、定義された法線ベクトルの式が示されている。この式を用いれば、任意の座標位置 $(x, y, z)$ に存在する標本点Q $(x, y, z)$ における法線ベクトルのX成分 $n_x$ 、Y成分 $n_y$ 、Z成分 $n_z$ は、 $n_x = t \cdot \cos \alpha$ 、 $n_y = (1-t) \cdot \cos \beta$ 、 $n_z = (1-n_x^2 - n_y^2)^{1/2}$ なる式によって計算される。ただし、 $\alpha$ は、 $\alpha = f1(x)$ で示されるように変数 $x$ の関数であり、 $\beta$ は、 $\beta = f2(y)$ で示されるように変数 $y$ の関数である。また、 $t$ は、 $0 < t < 1$ の範囲内の定数であり、 $\cos \alpha$ の成分と $\cos \beta$ の成分との按分比を決めるパラメータとして機能する。

【0070】この例のように法線ベクトルの定義が行われれば、当然、そのような法線ベクトルを有する三次元構造体が一義的に定義できる。ただし、具体的な式による定義の対象となっていないのは法線ベクトルであって、三次元構造体自体ではない。三次元構造体は、法線ベクトルを定義する式によって間接的に定義されていることになる。このように、本発明を実施するにあたって、実態上は、三次元構造体自体を直接定義する必要はなく、法線ベクトルさえ定義できれば十分である。

【0071】最後に、本発明を用いて、疑似的にカーボンクロスの質感を表現した実施例を述べておく。カーボンクロスは、光沢のある帯状の糸を、縦糸および横糸として用い、縦横に平織したファブリックであり、機械的、無機的な独特の光沢を有する特徴をもっているため、自動車の内装材などに好んで用いられている。このカーボンクロスを観察する際に視点位置を移動させてゆくと（あるいは、照明を移動させてゆくと）、明るく光って見える部分と暗く弱って見える部分とが順次移動してゆく光沢が移動して見える。このため、独特の高級感が醸し出されることになる。図28(a)、(b)は、この

カーボンクロスの表面立体形状を示す平面図である。いずれも、実際のカーボンクロスを模倣的に示した平面図であり、図の寸法値Dの実寸は、4mm程度である。図示のとおり、このカーボンクロスは、全体的に市松模様の形態をなしている。

【0072】しかしながら、このカーボンクロスはかなりの高価なファブリックであるため、コストを下げるために、疑似的なカーボンクロスもしくは用いられている。この疑似的なカーボンクロスを作成するには、本物のカーボンクロスを写真撮影し、これを印刷により再現する方法が採られるが、このような方法で作成された疑似的なカーボンクロスには、当然ながら、観察時の光沢の移動はみられない。

【0073】本発明に係るエンボス化化粧シートを用いれば、観察時に光沢移動が見られる疑似カーボンクロスを作成することが可能になる。そのためには、実際のカーボンクロスの凹凸形状を模した三次元構造体を定義し、この三次元構造体に基づいてエンボス化化粧シートを作成すればよい。もっとも、実際のカーボンクロスは、図28に示すように、全体的に市松模様を構成しているため、図の一辺Dの正方形の領域（以下、単位領域という）についてのヘアラインパターンが得られれば、これを繰り返し配置することにより、任意の面積をもった疑似カーボンクロスパターンを構成することができる。ただし、各単位領域ごとのパターンは、図示のとおり、1つおきに90°回転させたパターンとなるため、同一のパターンを1つおきに90°回転させながら割り付ける作業が必要になる。

【0074】1つの単位領域についてのヘアラインパターンは、図29に示すような「かまぼこ型」の三次元構造体を定義すればよい。この図29では、図示の便宜上、Y軸方向に関してのみ中央部が上に凸となる立体形状が示されているが、実際には、X軸方向に関しても、中央部がある程度、上に凸となる立体形状を用いるのが好ましい。このような立体形状をもった三次元構造体は、任意の投影点P $(x, y)$ に対応する標本点Qにおける法線ベクトルNのX軸方向成分を $n_x$ 、Y軸方向成分を $n_y$ とすれば、

(1)  $x \geq 0, y \geq 0$ の範囲内においては、

$$n_x = ax \cdot x^p \cdot x, n_y = ay \cdot y^p \cdot y$$

(2)  $x \geq 0, y < 0$ の範囲内においては、

$$n_x = ax \cdot x^p \cdot x, n_y = -ay \cdot y^p \cdot y$$

(3)  $x < 0, y \geq 0$ の範囲内においては、

$$n_x = -ax \cdot x^p \cdot x, n_y = ay \cdot y^p \cdot y$$

(4)  $x < 0, y < 0$ の範囲内においては、

$$n_x = -ax \cdot x^p \cdot x, n_y = -ay \cdot y^p \cdot y$$

なる法線ベクトル成分によって間接的に定義することが可能である。ここで、 $ax, ay$ は、それぞれX軸方向およびY軸方向の影の大きさの表示パラメータ、 $p_x, p_y$ は、それぞれX軸方向およびY軸方向の影の

カーブの形状を左右するパラメータであり、この三次元構造体の底面は原点を中心点とする一辺Dなる正方形であり、寸法D=2となるように規格化されている。

【0075】

【発明の効果】以上のとおり本発明に係る立体模倣を有するエンボス化化粧シートによれば、任意の立体模倣をヘアライン条溝によって表現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るエンボス化化粧シート作成の基本的な手順を示す流れ図である。

【図2】図1の流れ図におけるステップS1において定義される記録面 $S_{xy}$ 、基準軸R、投影面 $S_{yz}$ 、三次元構造体Mを、XYZ三次元直交座標系において定義した具体例を示す斜視図である。

【図3】記録面 $S_{xy}$ 上に投影点Pおよび方位ベクトルVを定義した一例を示す平面図である。

【図4】記録面 $S_{xy}$ 上に定義された複数の投影点Pおよび方位ベクトルVに基づいてヘアラインHを形成した状態を示す平面図である。

【図5】記録面 $S_{xy}$ 上に多数のヘアラインHを形成した状態を示す平面図である。

【図6】本発明に係るエンボス化化粧シートの表面に形成されるヘアライン条溝Gの構成を示す斜視図である。

【図7】図6に示すヘアライン条溝Gの異方向反射の原理を説明する断面図である。

【図8】上方から見た場合に端面の生じない半球を三次元構造体Maとして用いた例を示すXYZ三次元座標系の側面図である。

【図9】上方から見た場合に端面が生じる半球を三次元構造体Mbとして用いた例を示すXYZ三次元座標系の側面図である。

【図10】本発明に係るエンボス化化粧シート作成のより実用的な手順の前半部分を示す流れ図である。

【図11】本発明に係るエンボス化化粧シート作成のより実用的な手順の後半部分を示す流れ図である。

【図12】図10のステップS12の手順によって、記録面 $S_{xy}$ 上に定義された8個の格子点Tを示す平面図である。

【図13】図10のステップS13の手順によって、8個の格子点Tをランダム移動させ、第1の投影点P1を作成した状態を示す平面図である。

【図14】図10のステップS18までの手順を完了することによって、記録面 $S_{xy}$ 上に定義された6個の投影点P1(j)～P6(j)を示す平面図である。

【図15】図14に示す6個の投影点P1(j)～P6(j)を滑らかに結ぶことにより形成された第j番目のヘアラインHjを示す平面図である。

【図16】図15に示すヘアラインHjに幅を定義するための幅関数の一例を示すグラフである。

【図17】図16に示す幅関数を用いて、両端部にゆく

ほど幅が漸減するヘアラインを形成させる理由を説明する平面図である。

【図18】部分的に重複したヘアラインパターンの一例を示す平面図である。

【図19】本発明に係る方法で作成されるエンボス版10、透明シート20、印刷シート30の構造を示す断面図である。

【図20】本発明に係る方法で作成されたエンボス化粧シート上に表現された半球パターンを示す平面図およびこの半球パターンの原画像となる三次元構造体を定義する式を示す図である。

【図21】本発明に係る方法で作成されたエンボス化粧シート上に表現された円錐パターンを示す平面図およびこの円錐パターンの原画像となる三次元構造体を定義する式を示す図である。

【図22】本発明に係る方法で作成されたエンボス化粧シート上に表現された円柱パターンを示す平面図およびこの円柱パターンの原画像となる三次元構造体を定義する式を示す図である。

【図23】本発明に係る方法で作成されたエンボス化粧シート上に表現された部分円柱パターンを示す平面図である。

【図24】図23に示す部分円柱パターンの原画像となる部分円柱の斜視図である。

【図25】本発明に係る方法で作成されたエンボス化粧シート上に表現された金網パターンを示す平面図である。

【図26】図25に示す金網パターンの原画像となる蛇行円柱の斜視図である。

【図27】原画像となる三次元構造体を定義する代わりに、法線ベクトルのみを定義して作成されたエンボス化粧シート上に表現されたパターンを示す平面図および当該法線ベクトルを定義する式を示す図である。

【図28】一般的なカーボンクロスの表面立体形状を示す平面図である。

【図29】図28に示すカーボンクロスを疑似的に作成するために利用される三次元構造体の斜視図である。

【符号の説明】

10…エンボス版

11…凸部

12…凹部

20…透明シート

21…凹部

22…凸部

30…印刷シート

31…印刷面

C…幅をもったヘアラインHjの輪郭線

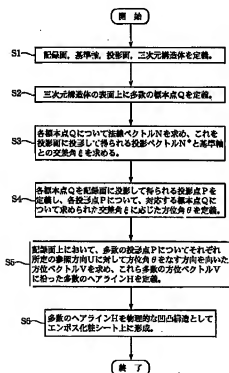
D…カーボンクロスの1単位領域を構成する正方形の一辺の長さ

D1…エンボスシートEの厚み

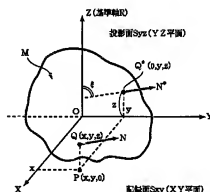
D2…ヘアライン条溝Gの深さ  
 E…エンボスシート  
 E1～E3…ヘアライン条溝Gのエッジ部  
 F…矩形領域  
 G…ヘアライン条溝  
 H, H<sub>1</sub>, H1～H4…ヘアライン  
 L, L1(j)～L6(j)…隣接する投影点間の距離  
 M, Ma, Mb…三次元構造物  
 M1～M4…照明光  
 N…法線ベクトル  
 N\*, N1\*, N2\*…投影面上への投影ベクトル  
 P, P(x, y, 0), P1～P5, P1(1)～P1(8), P1(j)～P6(j)…記録面上の投影点  
 Q, Q(x, y, z)…標本点  
 Q\*(0, y, z), Q1\*, Q2\*…投影面上の投影

点  
 R…基準軸  
 S1～S27…流れ図の各ステップ  
 Sxy…記録面(XY平面)  
 Syz…投影面(YZ平面)  
 T(x, y)…格子点  
 tx, ty…格子点の配置ピッチ  
 U…参照方向  
 V, V1～V5, V1(j)～V5(j)…方位ベクトル  
 W…ヘアラインの幅  
 W1…ヘアライン条溝Gの幅  
 W2…ヘアライン条溝Gの間隔  
 $\xi, \xi 1, \xi 2$ …投影ベクトルと基準軸との交差角  
 $\theta, \theta 1, \theta 2$ …交差角に基づいて定まる方位角

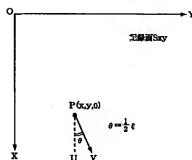
【図1】



【図2】

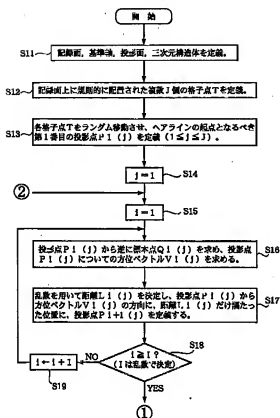


【図3】

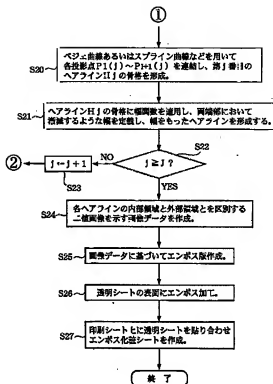




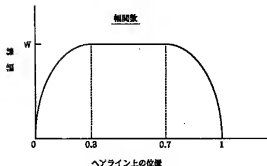
【图10】



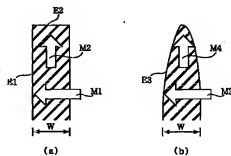
【图 1-1】



【图 16】



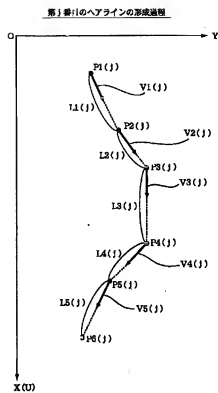
【图17】



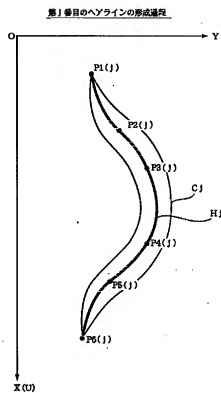
【图26】



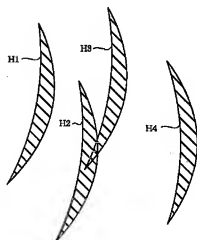
【図14】



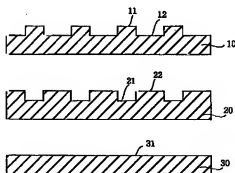
【図15】



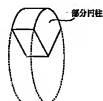
【図18】



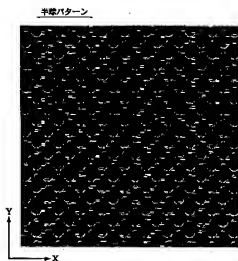
【図19】



【図24】



【図20】



球の中心を原点、半径を  $r$  とすると、

## (1) 凸半球の場合

立体を定義する式:  $z = \sqrt{(r^2 - x^2 - y^2)}$

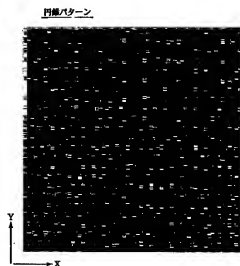
法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (x, y, z)$

## (2) 凹半球の場合

立体を定義する式:  $z = -\sqrt{(r^2 - x^2 - y^2)}$

法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (-x, -y, -z)$

【図21】



底面の中心を原点、半径を  $r$ 、高さを  $h$  とすると、

## (1) 凸円錐の場合

立体を定義する式:  $z = h \cdot (1 - \sqrt{(x^2 + y^2)}/r)$  但し、 $h > 0$

法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (h \cdot \frac{x}{r}, h \cdot \frac{y}{r}, r)$

但し、 $a = \sqrt{(x^2 + y^2)}$

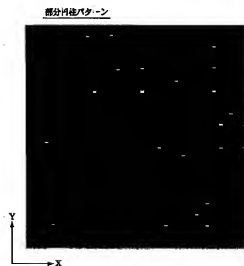
## (2) 凹円錐の場合

立体を定義する式:  $z = h \cdot (1 - \sqrt{(x^2 + y^2)}/r)$  但し、 $h < 0$

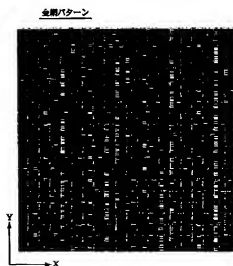
法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (h \cdot \frac{x}{a}, h \cdot \frac{y}{a}, r)$

但し、 $a = \sqrt{(x^2 + y^2)}$

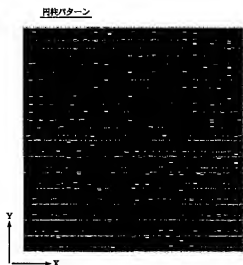
【図23】



【図25】



【図22】



円柱の中心軸をX軸、半径を $r$ とすると、

(1) 凸円柱の場合

立体を定義する式:  $z = \sqrt{(r^2 - y^2)}$

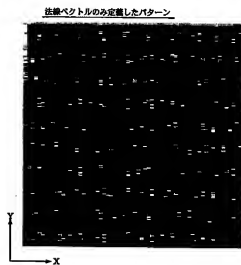
法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (0, y, z)$

(2) 凹円柱の場合

立体を定義する式:  $z = -\sqrt{(r^2 - y^2)}$

法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z) = (0, -y, -z)$

【図27】



立体を定義する式: なし

法線ベクトル成分:  $(n_x, n_y, n_z)$

$n_x = 1 \cdot \cos \alpha$

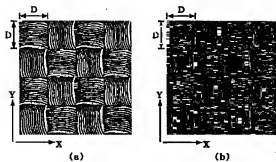
$n_y = (1-t) \cdot \cos \beta$

$n_z = \sqrt{(1 - n_x^2 - n_y^2)}$

但し、 $\alpha = f_1(x)$ ,  $\beta = f_2(y)$

$t$ は、 $0 < t < 1$ の定数

【図28】



【図29】

